

УДК 622.278

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ «ХОЛОДНОГО СКЛАДУ» НА ПІДСТАВІ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ

Кічкіна О.І., Русак А.Л.

MODELING OF TECHNOLOGICAL PROCESSES IN THE "COLD WAREHOUSE" BASED PREDICTION OF THE ENERGY CONSUMPTION

Kichkina O.I., Rusak A.L.

У статті визначені фактори, що впливають на енерговитрати низькотемпературного складу. З урахуванням цих факторів розроблено нечітку модель прогнозування енерговитрат «холодного» складу, оптимізації ряду складських процесів з використанням енергії з метою зниження як енерговитрат, так і зрештою загальних витрат на зберігання та обробку продукції та сировини. Запропонована модель враховує різні види вантажів, умови їх зберігання та різні моделі навантажувачів, які працюють на складі та дозволяє отримати в автоматизованому режимі інформацію, необхідну для мінімізації енергетичних витрат «холодного» складу.

Ключові слова: енергетичний показник роботи складу, нейронечітка адаптація, температурний режим зберігання, робота вантажних засобів, автоматизований режим прогнозування енерговитрат

Вступ. На сьогоднішній день в Україні кількість та якість низькотемпературних складів не задовольняє попит промисловості та торгівлі. Один із способів вирішення цієї проблеми - проведення комплексної оптимізації роботи тих складів, які були збудовані за радянських часів і не відповідають сучасним вимогам.

Проблема недостатнього розвитку логістики охолоджених і заморожених товарів в Україні створює нерівні умови для вітчизняних компаній, впливає на подорожчання товарів, їх якість. В 2011 році в Україні була створена Асоціація «Холодна Логістика України» (UCCA), що об'єднала провідних гравців ринка - з метою вирішення спільних завдань, в число яких входить приведення українських норм ветеринарного, санітарного та екологічного контролю у сфері логістики охолоджених і заморожених товарів, що в свою чергу потребує вирішення задач організації роботи «холодних» складів з урахуванням не тільки фінансових витрат, а й енерговитрат [3]. Враховуючи реалії сучасної економіки, надваж-

ливим показником діяльності складу є енергозбереження, особливо це стосується так званих «холодних» складів. Ці склади є значною ділянкою в логістичному ланцюгу: якість, час та витрати на складські процеси впливають на ефективність логістичних систем [10].

Постановка проблеми. Функціонування підприємств, що використовують низькотемпературні склади, має ряд нюансів, які слід враховувати здійснюючи оптимізацію матеріалопотоків. Ці особливо-сті впливають на вибір та застосування методів та моделей оптимізації. На даний момент дуже велике значення мають питання економічного використання енергоресурсів на низькотемпературних складах: 40% витрат в логістиці йде на ці потреби, а 60% — на трудові витрати [4]. Отже визначення факторів, що впливають на енергоекономічний режим роботи «холодного» складу є основним етапом в процесі розробки моделей оптимізації технологічних процесів на складі. Комплекс моделей оптимізації температурних режимів зберігання, технологічних схем роботи обладнання та інших процесів з використанням енергії з метою зниження як енерговитрат, так і зрештою загальних витрат є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Методика аналізу ефективності роботи складу як елементу логістичної системи підприємства висвітлена в працях таких вчених, як Д. Бауерсокс, Є. Крикавський., В. Николайчук, та ін. Протягом останніх років над питанням оптимізації параметрів функціонування складу працювали українські вчені Г. Баранець, О. Кудіна, Т. Лагоцький, Р. Савон, І.Сіренко та ін.

Українські вчені, досліджуючи питання, пов'язані з оцінкою параметрів та оптимізацією функціонування складу, застосовують досить широкий спектр методів, серед них: Г. Баранець [1] – для розробки логістичної системи управління матеріальни-

ми і фінансовими потоками підприємства; О. Кудіна [2] – обґрунтування алгоритму прийняття оптимальних рішень та оцінки стану функціонування системи управління ресурсним забезпеченням; Т. Лагоцький [6] – розробка симулятивних моделей функціонування системи запасів; І. Ніколаєнко [7] для кількісного аналізу факторів ризику в інтегрованій логістичній системі; Р. Савон [8] – розробка комплексу показників, що відображають стан системи управління виробничими запасами; І. Сіренко [9] – визначення ефективності діяльності управлінського персоналу, організації його роботи, використання необхідних засобів автоматизації та механізації, рівня підготовленості управлінського персоналу.

Мета дослідження. Визначити фактори, що впливають на енерговитрати низькотемпературного складу.

Розробити нечітку модель прогнозування енерговитрат «холодного» складу, оптимізації температурних режимів зберігання, технологічних схем роботи обладнання та інших процесів з використанням енергії з метою зниження як енерговитрат, так і зрештою загальних витрат на зберігання та обробку продукції та сировини.

Результати досліджень.

Оптимізація роботи складів з регульованим температурним режимом може розглядатися в декілька аспектах. В якості функції цілі на різних етапах може виступати як якісний показник роботи складу, так і кількісний показник витрат (вартісний або енергетичний). В нашому дослідженні, враховуючи специфіку технології роботи складів з регульованим температурним режимом було обрано енергетичний показник, який є суттєвою частиною у вартісному показнику витрат.

Аналіз основних питань і проблем у складській логістиці, що здійснювався із застосуванням форумів логістичних сайтів, показав, що найчастіше практики-логісти стикаються з проблемою комплектації замовлень, і у цьому зв'язку з задачею організації ефективної роботи вантажних засобів. А у випадку «холодних» складів ця проблема стає ще актуальнішою, вважаючи особливістю температурних режимів, теплообміну працюючих транспортних засобів, питань збереження енергії та її ефективного використання.

Аналіз роботи підприємства з виробництва заморожених продуктів і з застосуванням складів з регульованим температурним режимом дав можливість визначити параметри, що впливають на енерговитрати низькотемпературного складу.

А саме:

- витрати електроенергії на підтримання температури зберігання;
- площа та об'єм приміщень для зберігання;

- маса і температура вантажів, що надходять на склад;
- номенклатура товарів;
- тип техніки, що працює на складі;
- види обладнання для зберігання товарів;
- наявність та тип освітлення;
- теплопровідність матеріалу конструкцій, з яких виконано будівлю;
- наявність конструктивних рішень для зменшення витрат холоду.

Враховуючи невизначеність та неможливість однозначної кількісної оцінки деяких факторів було обрано для моделювання апарат нечіткої логіки.

Нечіткі моделі засновані на правилах продукційного типу. Така модель приваблює своєю наочністю, високою модульністю, легкістю внесення доповнень та змін і простим механізмом логічного виводу.

Модель передбачає нечітке моделювання енергетичних витрат навантажувача (на прикладі моделі TCM FG18T9H) [5] та витрат на охолодження, кондиціонування для прогнозування енерговитрат складу в залежності від кількості продукції (на прикладі 3-х існуючих типів), їх температурного режиму та результату зберігання (стан продукції на момент формування заказу).

В якості апарату моделювання було застосовано модель Сугено та її нейронечітку адаптацію (ANFIS) за допомогою MathLab Fuzzy Logic Toolbox вигляду

Схема виведення в моделі Сугено при використанні m правил і n , де X - параметри моделі прогнозування, Y - модельовані значення енерговитрат, має наступний вигляд:

$$\text{ЯКЩО}(X_n = A_n^{(i)}) \text{ТОДИ}(Y_i = P_{i0} + \sum_{j=1}^n P_{ij} X_j).$$

Ліва умова правила виведення реалізується функцією:

$$\mu_A(x_i) = 1 / (1 + ((x_i - c_i) / \sigma_i)^{2bi}).$$

Агрегований вихідний результат для m правил має вигляд

$$y(x) = \sum_{i=1}^m w_i y_i(x) / \sum_{i=1}^m w_i.$$

$$y_i = P_{i0} + \sum_{j=1}^n P_{ij} x_j.$$

Останнє рівняння дозволяє отримувати в автоматизованому режимі прогноз витрат енергоресурсів «холодного» складу на певний період та певних значень вхідних даних в режимі імітаційного моделювання.

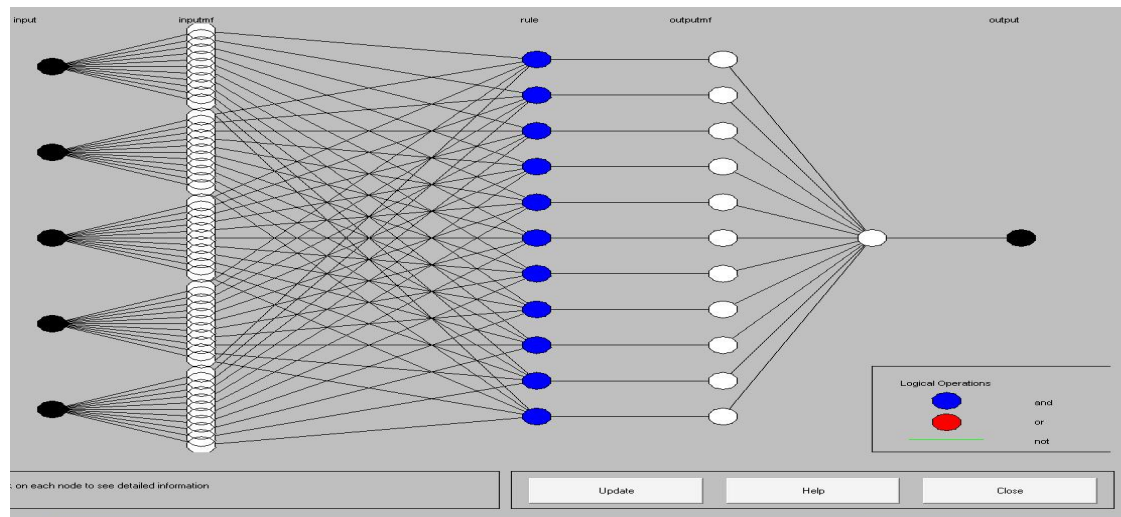


Рис. 1. Структура системи нейронечіткого виведення прогнозування енергетичних витрат «холодного складу»

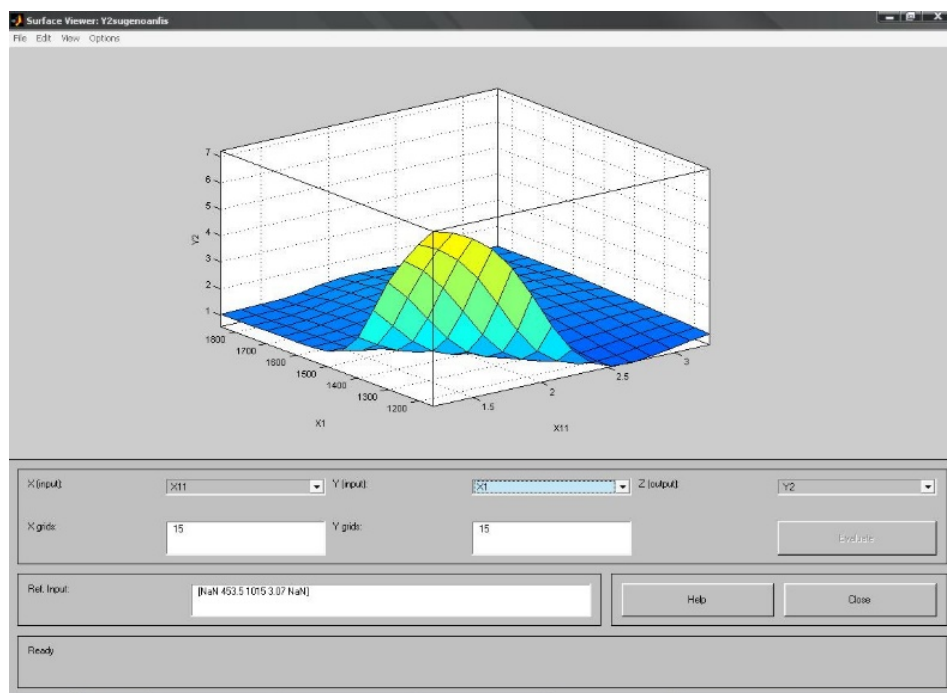


Рис. 2. Поверхня виведення прогнозування енергетичних витрат «холодного складу»

В якості входних змінних в моделі використовуються:

- кількість вантажу 1-го типу;
- кількість вантажу 2-го типу;
- кількість вантажу 3-го типу;
- температурний режим зберігання;
- якість зберігання продукції (в діапазоні відсотків 0-100%).

Відповідна поверхня виведення представлена на рисунку 2.

Нейроадаптація моделі здійснюється за рахунок накопичення даних бази WMS (електронний журнал вантажних операцій).

Розробка програмного забезпечення для створення експертної системи мінімізації

енерговитрат здійснюється у вигляді системи підтримки прийняття рішень. Програмний комплекс складається з двох компонентів:

- мобільний компонент на бортовому комп'ютері навантажувача (штабелера);
- стаціонарний компонент (сервер WMS), який накопичує інформацію про технологічну та фінансову роботу складу.

При цьому послідовність роботи системи підтримки прийняття рішень мінімізації енерговитрат включає наступні кроки:

- одержання з WMS складу в мобільний (бортний) комп'ютер інформації про майбутній маршрут транспортування вантажу;

- формування вантажної RFID-мітки з інформацією про вантаж (відбувається в WMS складу);
- створення локальної бази даних в мобільному (бортовому) комп'ютері оператора навантажувача (за рахунок реплікації бази WMS), що включає інформацію про навантажувач та вантажі, які є на поточному зберіганні;
- ідентифікація даних про вантаж з RFID-мітки (здійснюється сканером, вмонтованим в вили навантажувача);
- прийняття рішення оператором навантажувача про здійснення вантажної операції за наявних умов;
- розрахунок показника енерговитрат вантажної операції;
- передача в електронний журнал вантажних операцій інформації про здійснену вантажну операцію. Результати виконання вантажної операції фіксуються у базі даних сервера WMS (електронний журнал вантажних операцій) та формують інформаційну базу розрахунку показників енергоефективності «холодного» складу;
- кореляційно-регресійний аналіз електронного журналу вантажних операцій з метою отримання діапазонів змін факторів для нечіткої моделі прогнозування енерговитрат діяльності складу;
- одержання результатів комп'ютерного розрахунку прогнозу енерговитрат вантажної операції за допомогою нечіткої моделі мінімізації енерговитрат;
- рекомендації що до прийняття рішення з мінімізації енерговитрат діяльності складу.

Періодичність здійснення етапів методики завдяки автоматизації залежить лише від потреб персоналу та керівництва

Висновки. Запропонована модель дозволяє отримати в автоматизованому режимі інформацію, необхідну для мінімізації енергетичних витрат «холодного» складу. При цьому враховуються різні види вантажів, умови їх зберігання (температурний режим та якість зберігання) та різні моделі навантажувачів, які працюють на складі.

Література

1. Баранець Г.В. Управління матеріальними та фінансовими потоками підприємства на основі логістичного підходу : автореф. дис. канд. екон. наук: 08.00.04 / Г.В. Баранець; Інститут економіки промисловості НАН України. – Д., 2007. – 22 с.
2. Кудіна О.М. Формування ресурсної стратегії підприємства: автореф. дис... канд. екон. наук: 08.00.04 / О.М. Кудіна ; Харк. нац. екон. ун-т. — Х., 2007. — 20 с. — укр.
3. Електронний ресурс <http://www.ucca.org.ua/>
4. Електронний ресурс <http://news.vlasnasprava.info/analytics/2104-2012-07-10-07-57-10> Обзор рынка холодных складов Украины.
5. Кічкін О.В. Удосконалення управління стійкістю вилкового навантажувача на підставі даних журналу вантажної роботи Вісник СНУ ім. В. Даля. – 2010. – № 4 (146) частина 2. – С. 143-148. Вид-во СНУ ім. В. Даля, м. Луганськ
6. Лагоцький Т.Я. Математичні методи в управлінні запасами складських та гуртових підприємств: автореф. дис. канд. екон. наук: 08.03.02 / Т.Я. Лагоцький; Львівський нац. ун-т ім. І. Франка. – Л., 2006. – 22 с.
7. Ніколаєнко І.В. Вдосконалення міжопераційних процесів транспортно-складського комплексу: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.01 / І.В. Ніколаєнко; Київ. ун-т економіки і технологій трансп. — К., 2002. — 19 с. — укр.
8. Савон Р.Л. Формування системи управління виробничими запасами великого машинобудівного підприємства: автореф. дис. канд. екон. наук: 08.06.01 / Р.Л. Савон; Інститут економіки промисловості НАН України. – Д., 2006. – 21 с.
9. Сіренко І.В. Управління матеріальними потоками промислового підприємства на основі логістичного підходу: автореф. дис. канд. екон. наук: 08.06.01 / І.В. Сіренко; Технологічний університет поділля. – Х., 2002. – 19 с.
10. Supply Chain Logistics Management(3rd Edition) by Donald Bowersox, David Closs, M. Bixby Cooper, David J. Closs, Donald J. Bowersox Hardcover, 448 Pages, Published 2009 by Mcgraw-Hill Higher Education

References

1. Baranets' H.V. Upravlinnya material'nymy ta finansovymy potokamy pidpryyemstva na osnovi lohystychnoho pidkhodu : avtoref. dys. kand. ekon. nauk: 08.00.04 / H.V. Baranets'; Instytut ekonomiky promyslovosti NAN Ukrayiny. – D., 2007. – 22 s.
2. Kudina O.M. Formuvannya resursnoyi stratehiyi pidpryyemstva: avtoref. dys... kand. ekon. nauk: 08.00.04 / O.M. Kudina ; Khark. nats. ekon. un-t. — Kh., 2007. — 20 s. — ukr.
3. Elektronnyy resurs <http://www.ucca.org.ua/>
4. Elektronnyy resurs: <http://news.vlasnasprava.info/analytics/2104-2012-07-10-07-57-10> Obzor rynku holodnyh skladov Ukrayiny.
5. Kichkin O.V. Udoshkonalennya upravlinnya stiykisty vylkovoho navantazhuvacha na pidstavi danykh zhurnalu vantazhnoyi roboty Visnyk SNU im. V. Dalya. – 2010. – # 4 (146) chastyna 2. –S. 143-148. Vyd-vo SNU im. V. Dalya, m. Luhans'k
6. Lahots'kyy T.Ya. Matematychni metody v upravlinni zapasamy sklads'kykh ta hurtovykh pidpryyemstv: avtoref. dys. kand. ekon. nauk: 08.03.02 / T.Ya. Lahots'kyy; L'vivs'kyy nats. un-t im. I. Franka. – L., 2006. – 22 s.
7. Nikolajenko I.V. Vdoskonalennja mizhoperacijnyh procesiv transportno-sklads'kogo kompleksu: Avtoref. dys. kand. tehn. nauk: 05.22.01 / I.V. Nikolajenko; Kyi'v. un-t ekonomiky i tehnologij transp. — K., 2002. — 19 s. — ukr.
8. Savon R.L. Formuvannja systemy upravlinnja vyrobnychymy zapasamy velykogo mashynobudivnogo pidpryyemstva: avtoref. dys. kand. ekon. nauk: 08.06.01 / R.L. Savon; Instytut ekonomiky promyslovosti NAN Ukrai'ny. – D., 2006. – 21 s.
9. Sirenko I.V. Upravlinnja material'nymy potokamy promyslovogo pidpryyemstva na osnovi logistychnoho pidhodu: avtoref. dys. kand. ekon. nauk: 08.06.01 / I.V. Sirenko; Tehnologichnyj universytet podillja. – H., 2002. – 19 s.

10. Supply Chain Logistics Management(3rd Edition) by Donald Bowersox, David Closs, M. Bixby Cooper, David J. Closs, Donald J. Bowersox Hardcover, 448 Pages, Published 2009 by McGraw-Hill Higher Education

Кичкина Е.И., Русак А.Л. Моделирование технологических процессов «холодного склада» на основе прогнозирования энергопотребления

В статье определены факторы, влияющие на энергопотребление низкотемпературного склада. С учетом этих факторов разработана нечеткая модель прогнозирования энергопотребления «холодного» склада, а так же модель оптимизации ряда складских процессов, использующих энергию. В данном случае целью моделирования является снижение как энергопотребления, так и, в итоге, общих расходов на хранение и обработку продукции и сырья.

Предложенная модель учитывает различные виды грузов, условия их хранения и разные модели погрузчиков, работающих на складе и позволяет получить в автоматизированном режиме информацию, необходимую для минимизации энергетических затрат «холодного» склада.

Ключевые слова: энергетический показатель работы склада, нейронечеткая адаптация модели, температурный режим хранения, работа погрузочных средств, автоматизированный режим прогнозирования энергопотребления.

Kichkina O.I., Rusak A.L. Modeling of technological processes in the "cold warehouse" based prediction of the energy consumption

The article is defined factors, affecting for energy consumption of low-temperature warehouse. The model of fuzzy prediction of energy consumption of low-temperature warehouse and the optimization model of a number warehouse processes that use energy. In this case, the purpose of modeling is to reduce energy consumption, and as a result, it is to reduce the total cost of storage and processing of products and raw materials.

The proposed model takes into account the different types of cargo, storage conditions and different models of loaders working in a warehouse. It allows getting automated information needed to minimize the energy consumption of the "cold" storage.

Keywords: energy index of the warehouse, neuro fuzzy adaptation model, temperature storage, work of loaders, automated mode power consumption forecasting.

Кічкіна О.І. – к.т.н., доц, зав. кафедри «Транспортні системи» СХУ ім. В. Даля

Русак А.Л. – аспірант кафедри «Транспортні системи» СХУ ім. В. Даля

Рецензент: д.т.н., проф. **Марченко Д.М.**

Стаття подана 21.03.2016